

振動時の疲労き裂の開閉口に伴う超音波透過波形の動的变化について

愛媛大学 学生会員 ○川崎藍流 小野寺慧
愛媛大学 正会員 丸山泰蔵 中畑和之

1. はじめに

構造部材内部のき裂を非破壊で評価する方法として超音波探傷 (UT) 法が利用されている。この方法は、き裂が開口している場合には端部やルート部からのエコーが得られるため、き裂の高さや位置が評価できる。しかし、き裂が閉口している場合、端部エコーが微小であるため、き裂を見落とししたり、あるいは高さを過小評価する危険性がある。

疲労き裂などの閉じたき裂は、き裂面の応力状態によって、超音波の散乱特性が異なることが報告されている¹⁾。具体的には、疲労き裂面に作用する圧縮応力を増大させながら周波数 f_0 のバースト波で超音波透過試験を行ったときに、透過波形の f_0 のピーク値の周波数シフトが発生する。しかしながら、実際の土木構造物に大きな荷重を作用させるには大がかりな装置等が必要であるし、何より破壊が進展するリスクを伴う。そこで、本研究では、き裂面に微小な応力を作用させながら超音波透過試験を行う。ここでは、共振とそのモード形状を利用し、き裂面の応力状態を時々刻々変化させたときの透過波形を観察することで、疲労き裂の評価が可能であるかについて検証した。

2. 曲げ1次モードの固有振動計測

図-1 に示すような、ステンレス鋼 SUS304 の幅 31mm、高さ 38mm、長さ 351mm の底面中央部にスリットを導入し、繰り返し3点曲げ試験により進展深さ 15mm の疲労き裂を作製した。ここでは、曲げ1次の固有振動数で共振させることで、中央部の疲労き裂面の応力状態を動的に変化させることを考える。まず、曲げ1次固有振動数を同定する。図-2 に示すように試験片を固定し、加振器により振動を励起した時の加速度を、1軸加速度センサ (A, B) で計測した。開始周波数 10Hz から終了周波数 3000Hz まで、掃引試験を行った。図-3(a) と (b) にセンサ A-B 間の位相差と振幅倍率をそれぞれ示す。図-3 より、1400Hz~1500Hz 付近で位相が同位相 (0°) から逆位相 (-180°) へ変化していることが確認でき、1465Hz で振幅倍率が卓越していることから、この周波数を固有振動数と同定した。

3. 共振時における超音波計測

固有振動数が同定できたので、この周波数で試験片を加振器で振動させながら、超音波の透過試験を行う。

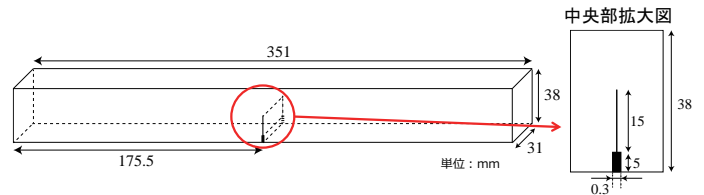


図-1 疲労き裂試験片

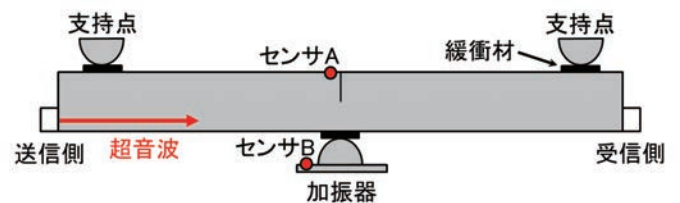
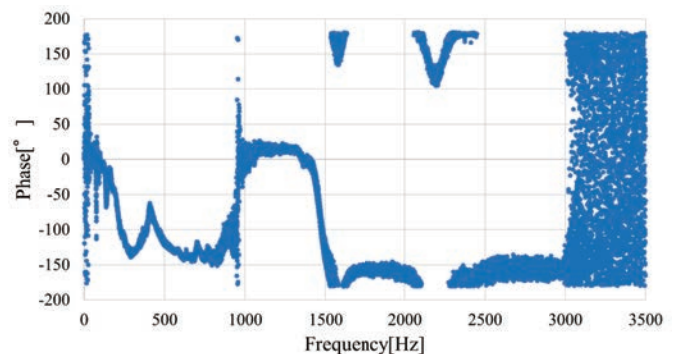
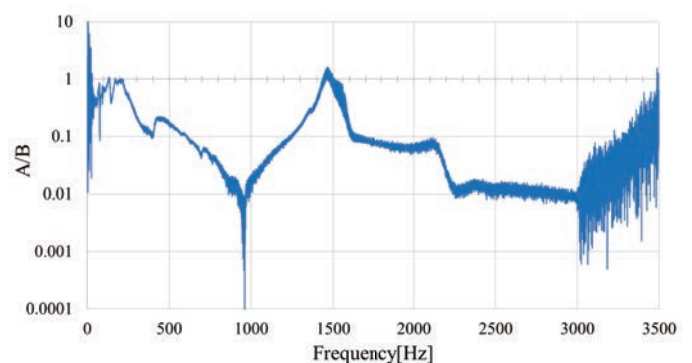


図-2 実験概要



(a)



(b)

図-3 疲労き裂試験片の (a) 位相差, (b) 振幅倍率

ここでは、図-2 に示すように $f_0=1\text{MHz}$ のバースト波を送信用超音波プローブから発振し、疲労き裂を通過した超音波を試験片の反対側で受信する。ここで、加

振周期は $680\mu\text{s}$ であり、1周期を10分割した各区分間(1区分 $68\mu\text{s}$)において、超音波を送信する。各区分間で超音波を50サイクル送信するので、送信時間は $50\mu\text{s}$ となる。各区分間で受信した透過波をフーリエ変換し、そのピーク値の大きさを調べた。使用したパルサ・レシーバは Japan Probe 製の JPR-600C であり、送信側、受信側ともに中心周波数 1MHz 、素子直径 10mm の垂直探触子を使用した。

振動による応力変化は微小であり、 f_0 の微小な振幅変化に対して評価を行うために、各区分間 ($m = 1 \sim 10$) における計測波形のフーリエスペクトルの f_0 のピーク値 f_{pm} を抽出し、それらの平均値 $f_{pave} (= 1/10 \sum_{m=1}^{10} f_{pm})$ を計算することで、ピーク変化率 $R = (f_{pm} - f_{pave})/f_{pave}$ を求めた。図-4(a)に疲労き裂試験片の共振時における R 、図-4(b)にき裂の無い試験片(健全試験片)の共振時における R をそれぞれ示す。このとき、加振器の電圧を変えることで、共振時の振動変位を大きくしている。電圧が大きくなると、 R の値の変化が大きくなるのがわかる。健全な試験片でも R の変化がわずかに見られるが、振動によって探触子の固定条件が変わることに起因するものと考ええる。図-5に固有振動数から外れた周波数 (1000Hz)

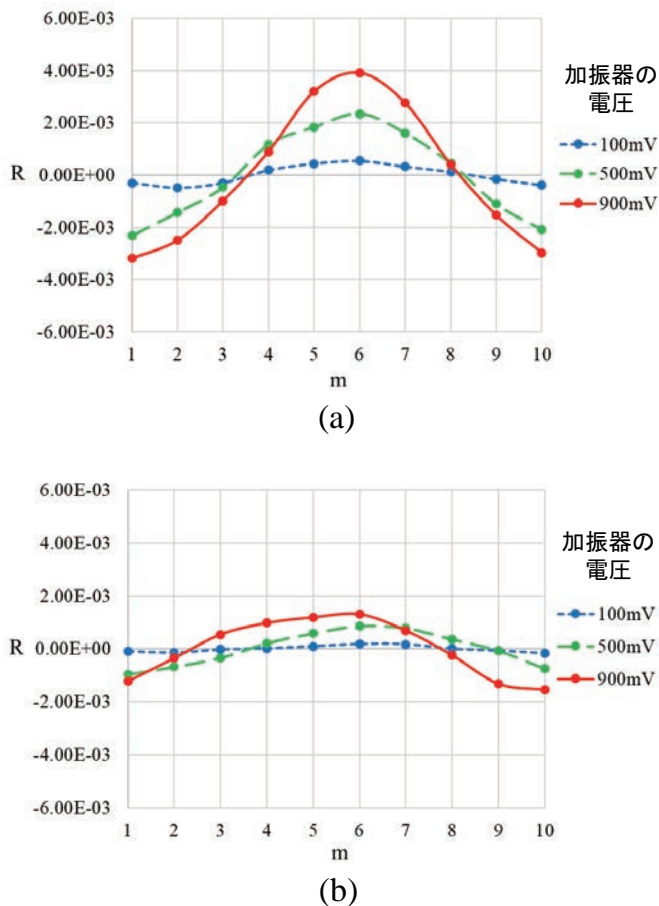


図-4 共振時の (a) 疲労き裂試験片のピーク変化率, (b) 健全試験片のピーク変化率

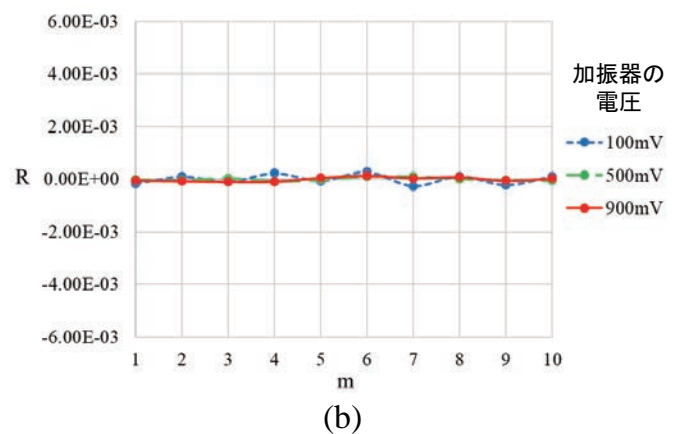
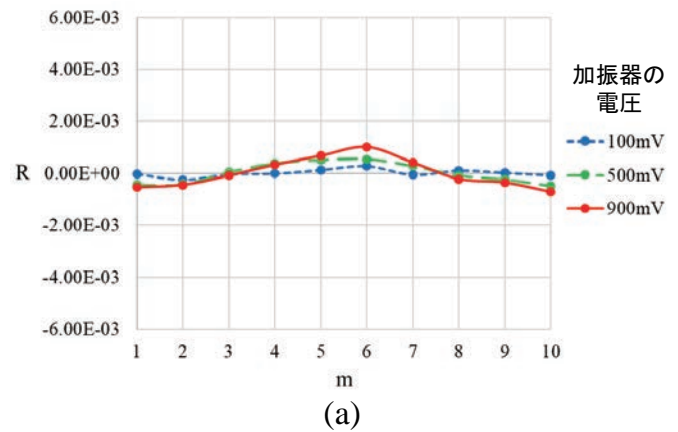


図-5 非共振時の (a) 疲労き裂試験片のピーク変化率, (b) 健全試験片のピーク変化率

で加振した場合の R について示す。図-5(a)と(b)は、それぞれ疲労き裂試験片と健全試験片の結果である。非共振時は、健全試験片も疲労き裂試験片も R にほとんど変化がないことがわかる。

4. おわりに

本研究では、き裂面に微小な圧縮・引張応力を動的に作用させたときの、超音波の透過波形の変化について調査した。共振時に疲労き裂面の応力状態が変化する場合において、透過超音波の周波数スペクトルに大きな変化が現れることがわかった。共振から外れたり、加振の振幅が小さい場合には透過波形に変化は見られなかった。き裂に作用する応力状態を微小に変化させたとき、超音波透過波形に有意な変化が現れることを利用すれば、疲労き裂の評価が可能になると思われる。今後は、き裂の高さや発生位置なども評価できるように、研究を進めていきたい。

参考文献

- 1) 中畑和之, 高橋栄太, 細川隼人, 高橋学: 疲労き裂面の接触状態による透過超音波の波形特性の変化, 構造工学論文集 A, Vol.66A, pp.529-539, 2020.